

5

10

Vorrichtung und Verfahren zur Abgasreinigung einer  
Brennkraftmaschine

Beschreibung

15 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur  
Abgasreinigung einer Brennkraftmaschine sowie ein  
Verfahren zum Betreiben einer solchen Vorrichtung. Die  
Vorrichtung weist eine von der Brennkraftmaschine  
wegführende Abgasleitung und eine Ozonquelle zum  
20 Anreichern des Abgasstromes mit Ozon auf. Die Erfindung  
betrifft weiterhin ein Verfahren zum Regenerieren eines  
Partikelfilters in einer Vorrichtung zur  
Abgasreinigung. Dabei betrifft die Erfindung  
vorzugsweise Dieselmotoren, die insbesondere in  
25 Kraftfahrzeugen angeordnet sind.

Stand der Technik

30 Aus der EP 1 026 373 A2 ist eine Vorrichtung zur  
Reinigung des Abgasstromes einer Brennkraftmaschine mit  
einer Ozonquelle bekannt, die der Anreicherung des

Abgasstromes mit Ozon dient. Gemäß dieser  
Veröffentlichung sind in der Abgasleitung ein  
Oxidationskatalysator und stromabwärts des  
Oxidationskatalysators ein Partikelfilter angeordnet.

5 Die Zufuhr des Ozons dient der Reinigung des  
Partikelfilters von dort abgeschiedenen Partikeln  
während des Betriebes der Brennkraftmaschine. Die  
Anreicherung des Abgasstromes mit Ozon erfolgt zwischen  
Oxidationskatalysator und Partikelfilter. Mit dem Abgas  
10 gelangt das Ozon dann zum Partikelfilter. Die Partikel  
reagieren mit dem zugeführten Ozon, da dessen  
Reaktionsträgheit sehr gering ist, eine  
Selbstentzündung der Partikel findet auch bei relativ  
niedrigen Temperaturen des Abgasstromes statt. Die  
15 Partikel oxidieren und werden dadurch beseitigt,  
wodurch der Partikelfilter gereinigt wird.

Weiterhin ist aus der DE 38 34 920 A1 ein Verfahren und  
eine Vorrichtung zum Beseitigen von in einem  
20 Abgasfilter einer Brennkraftmaschine abgeschiedenen Ruß  
bekannt, wobei Entladeströme erzeugt werden, die zum  
einen die Rußpartikel aufheizen, zum anderen Ozon  
erzeugen, das die Rußpartikel oxidiert und somit den  
Rußabbrand am Filter unterstützt.

25 Die Erfindung soll den Betrieb einer  
Abgasreinigungsanlage hinsichtlich des  
Energieverbrauchs verbessern. Dies kann gemäß der  
Erfindung einerseits dadurch erfolgen, dass die für die  
30 Regeneration eines Partikelfilters benötigte Energie  
reduziert wird, andererseits durch Minderung des

Verbrauchs der Brennkraftmaschine selbst. Auch soll der Schadstoffausstoß einer Brennkraftmaschine verbessert werden.

5 Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Reinigung von Abgasen einer Brennkraftmaschine weist eine von der Brennkraftmaschine wegführende Abgasleitung sowie eine  
10 Ozonquelle zum Anreichern des Abgasstromes mit Ozon auf, wobei die Ozonquelle derart ausgebildet ist, dass sie einen kontinuierlichen ozonhaltigen Gasstrom erzeugt, so dass in der Abgasleitung strömende Partikel nahezu vollständig oxidiert (verbrannt) werden. Dadurch  
15 wird es möglich, auf einen Partikelfilter ganz zu verzichten.

Durch die kontinuierliche Oxidation der beim Motorbetrieb entstehenden Partikel mit Ozon wird es  
20 möglich, auf einen Partikelfilter in der Abgasleitung ohne Qualitätseinbuße in der Abgasreinigung zu verzichten. Dies verringert den Strömungswiderstand der Abgasleitung und damit den Abgasgegendruck sowie hierdurch den Energieverbrauch der Brennkraftmaschine.  
25 Die hohe Oberfläche der Partikel, weit überwiegend Ruß mit einer Primärpartikelgröße von weniger als 100 nm, erleichtert eine Oxidation während der Verweilzeit im Abgasstrang, also der Flugzeit der Gase.

30 Das Ozon ist ein starkes Oxidationsmittel für die Partikel im Abgasstrom. Durch die Präsenz des Ozons

setzt die Oxidation der Partikel bei geringen  
Temperaturen in der Abgasleitung ein, die auch  
unterhalb von 150° Celsius liegen können. Die Oxidation  
der Partikel ist eine exotherme Reaktion, die  
5 stattfindet, wenn die Atmosphäre geeignete  
Reaktionsbedingungen - Präsenz von Sauerstoff in  
ausreichender Konzentration - und ausreichende  
Temperatur vorliegt. Das Ozon ist eine metastabile  
Sauerstoffverbindung, welche unter Energieabgabe nach  
10 kurzer Zeit zerfällt. Es werden dabei ungebundene, hoch  
reaktive Sauerstoffatome (Radikale) freigesetzt, welche  
die Reaktivität der Atmosphäre erhöhen und damit die  
Zündtemperatur für die Verbrennung der Partikel  
erheblich absenkt.

15 Aufgrund der Metastabilität des Ozons ist es nicht  
speicherbar, es muss bedarfsgerecht und wenigstens in  
der Nähe des zu reinigenden Abgasstromes erfolgen.  
Daher ist eine Ozonquelle vorzusehen, in der Ozon  
20 erzeugt wird. Ozon kann in einer sauerstoffhaltigen  
Atmosphäre durch zur Spaltung von Sauerstoffmolekülen  
geeignete Energiezufuhr gewonnen werden. Dies kann  
beispielsweise durch elektromagnetische Wechselfelder  
oder UV-Licht erfolgen. Eine elektrochemische  
25 Ozonerzeugung ist mit Wasser als Edukt möglich. Die  
Anreicherung des Abgasstromes mit Ozon kann gemäß  
vorteilhaften Ausgestaltungen der Erfindung zum einen  
durch Ozonerzeugung im Abgasstrom selbst oder aber  
durch Ozonerzeugung in einer außerhalb der Abgasleitung  
30 angeordneten Ozonquelle erfolgen. Bei der Ozonerzeugung  
im Abgasstrom selbst muss allerdings Sauerstoff in

ausreichender Menge im Abgasstrom selbst vorhanden sein. Dies ist entweder im Falle einer mageren Verbrennung des Kraftstoffes in der Brennkraftmaschine oder aber durch Beimengung von Luft in den Abgasstrom erzielbar. Im Falle einer externen Erzeugung des Ozons kann dies in einer Reaktionskammer erfolgen, die von angesaugter Außenluft durchströmt wird.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Reinigung eines Abgasstromes, das insbesondere bei einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Abgasreinigung Anwendung finden kann, erfolgt eine kontinuierliche Anreicherung des Abgasstromes mit Ozon derart, dass eine Oxidation mit vollständiger Verbrennung der Partikel im Abgasstrom bereits während des Durchströmens der Abgasleitung erfolgt, so dass ein Partikelfilter überflüssig wird.

Die Dosierung des Ozons erfolgt vorzugsweise derart, dass die Temperatur des Abgasstromes bei der durch die Ozonquelle erzeugten Anreicherung mit Ozon oberhalb der Selbstentzündungstemperatur der (Ruß-)Partikel liegt. Die Dosierung des Ozons kann dabei so erfolgen, dass in der Abgasleitung, von der Stelle der Anreicherung mit Ozon stromabwärts beabstandet, ein Partikelsensor vorgesehen ist, der den verbleibenden Partikelgehalt im Abgasstrom misst. Diese Messung kann auch indirekt, beispielsweise über die Erfassung der Abgastemperatur in diesem Bereich der Abgasleitung erfolgen. Die Anreicherung mit Ozon erfolgt so, dass der Partikelgehalt am Partikelsensor einen vorgegebenen

Grenzwert unterschreitet. Der vorgegebene Grenzwert wird dabei beispielsweise so bestimmt, dass gesetzlich vorgegebene Abgasgrenzwerte hinsichtlich der Partikel - Ruß - eingehalten oder unterschritten werden.

5 Ergänzend oder alternativ kann es vorgesehen sein, die Temperatur des Abgasstromes vor der Stelle der Anreicherung mit Ozon zu erfassen. Der Temperaturanstieg zwischen dem Temperatursensor vor der Anreicherung mit Ozon und einem Temperatursensor  
10 stromabwärts der Anreicherung mit Ozon ist ein Maß für die bei der Verbrennung der Partikel freigewordenen Energie. Wird diese Temperaturdifferenz bei geringst möglicher Anreicherung mit Ozon (Ozongehalt) maximiert, so kann dies als Erreichen eines maximalen  
15 Verbrennungsgrad der Partikel gewertet werden.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung kann bei einer Abgasreinigungsanlage, die einen in der Abgasleitung angeordneten Partikelfilter aufweist,  
20 stromaufwärts dieses Partikelfilters nach dem Abstellen des Motors Ozon eingeleitet werden.

Durch das Einleiten des Ozons erfolgt eine Regeneration des Partikelfilters. Das Einbringen des Ozons,  
25 möglicherweise in Verbindung mit einem Trägergas, kann beispielsweise mittels eines Gebläses erfolgen. Der Vorteil der Durchführung einer Regeneration eines Partikelfilters bei ausgeschalteter Brennkraftmaschine besteht darin, dass die Ozonkonzentration mit geringem  
30 Energieaufwand innerhalb des Partikelfilters sehr hoch gehalten werden kann, da keine Verdünnung mit dem

Motorabgas auftritt. Außerdem führt ohne zusätzlichen Abgasstrom die exotherme Oxidation der Partikel zu einem deutlichen Anstieg der Filtertemperatur, da der konvektive Wärmeabtransport auf Grund des geringeren Massenstroms wesentlich verringert ist. Beide Effekte führen zu einer deutlich verringerten Regenerationszeit und einem geringeren Energieaufwand. Ist ausschließlich eine solche Regeneration des Partikelfilters vorgesehen, also erfolgt keine periodische Regeneration während des Fahrbetriebes, so kann der Ozongenerator kleiner dimensioniert und damit kostengünstiger realisiert werden.

Dabei erfolgt das Einleiten des Ozons vorzugsweise bei einer Resttemperatur des Partikelfilters, die eine Selbstzündung der Partikel bei erreichbarer Ozonkonzentration ermöglicht. Vorzugsweise kann das Abbrennen der Partikel im Partikelfilter mittels eines Temperatursensors überwacht werden. Es ist dabei insbesondere möglich, die Ozonzufuhr so zu steuern, dass die Temperatur des Partikelfilters ein gewisses Maß oberhalb einer Mindesttemperatur liegt, die Mindesttemperatur kann beispielsweise ca. 150 °C betragen. Bei abfallender Tendenz der Temperatur des Partikelfilters wird die Ozonzufuhr erhöht um die stattfindende Verbrennung zu fördern, bei zu weit ansteigender Temperatur wird die Ozonzufuhr verringert um Beschädigungen des Partikelfilters vorzubeugen. Auf diese Weise kann ein gleichmäßiges Abbrennen der Partikel erreicht werden.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung sieht vor, dass unmittelbar vor dem Start der Brennkraftmaschine die Abgasleitung mit einem mit Ozon angereicherten Gasstrom gespült wird.

5

Es ist bekannt, dass sich im Abgasstrang nach dem Abschalten des Motors eine gewisse Menge Kohlenwasserstoff an den inneren Oberflächen der Abgasleitung niederschlagen kann. Diese Kohlenwasserstoffe können auf Grund des noch kalten, ineffektiven Oxidationskatalysators beim Anlassen der Brennkraftmaschine entweichen. Diese Startemission lässt sich vermeiden, wenn der Abgasstrang vor dem Startvorgang, beispielsweise während der Vorglühphase eines Dieselmotors, mit einem ozonhaltigen Gasstrom gespült wird. Es findet eine Verbrennung der Kohlenwasserstoffe aufgrund der Präsenz des Ozons statt, die nicht nur die Kohlenwasserstoffe beseitigt, sondern auch rasch die Temperatur in der Abgasleitung erhöht.

10

15

20

Es kann insbesondere vorgesehen sein, den mit Ozon angereicherten Gasstrom stromaufwärts eines Oxidationskatalysators einzuleiten. Dies fördert das Erreichen der Betriebstemperatur des Oxidationskatalysators nach dem Kaltstart. Darüber hinaus kann bei gleichzeitiger fetter Verbrennung in der Brennkraftmaschine der Abgasstrom zunächst weitere unverbrannte Kohlenwasserstoffe mitführen, die aufgrund der Präsenz des Ozons exotherm verbrannt werden. Auch diese Maßnahme ist einem raschen Erreichen der

25

30



Betriebstemperatur des Oxidationskatalysators  
förderlich. Ebenso ist eine Späteeinstellung der  
Einspritzung des Kraftstoffes in die Brennkammern der  
Brennkraftmaschine hierzu vorteilhaft. Mit steigender  
5 Temperatur im Abgasstrang kann die Zufuhr eines mit  
Ozon angereicherten Gasstromes bzw. die  
Ozonkonzentration verringert werden.

Zeichnung

10 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der  
Zeichnung dargestellt und nachfolgend näher erläutert;  
dabei zeigt:

15 Figur 1: in schematischer Darstellung eine  
erfindungsgemäße Vorrichtung zur  
Abgasreinigung mit einer außerhalb der  
Abgasleitung angeordneten Ozonquelle;

20 Figur 2: in schematischer Darstellung eine  
erfindungsgemäße Vorrichtung zur  
Abgasreinigung mit einer innerhalb der  
Abgasleitung angeordneten Ozonquelle;

25 Figur 3: in schematischer Darstellung eine  
Abgasreinigungsanlage mit einem  
Partikelfilter;

Figur 4: das Flussdiagramm eines Verfahrens zur  
Steuerung der Ozonkonzentration bei  
kontinuierlicher Anreicherung mit Ozon;

30 Figur 5: das Flussdiagramm eines Verfahrens zum  
Regenerieren eines Partikelfilters nach dem  
Ausschalten der Brennkraftmaschine; und

Figur 6: das Flussdiagramm eines Verfahrens zum  
Spülen der Abgasleitung mit  
ozonangereichertem Gas vor dem  
Fahrzeugstart.

5

Die Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine  
Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur  
Abgasreinigung mit einer außerhalb der Abgasleitung 7  
angeordneten Ozonquelle.

10

Die Abgasleitung 7 führt dabei von der  
Brennkraftmaschine 1 zum Endrohr 13 der Abgasleitung 7,  
bei dem die Abgase die Abgasleitung 7 verlassen. In der  
Abgasleitung 7 und der Abgasleitung 7 zugeordnet sind  
diverse Elemente der Abgasreinigung, die zusammen eine  
Abgasreinigungsanlage bilden. Die Abgasreinigung hat  
den Zweck die von der Brennkraftmaschine 1  
ausgestoßenen Abgase von mitgeführten Schadstoffen  
weitestgehend, mindestens aber entsprechend  
gesetzlicher Vorschriften, zu reinigen. Zu den  
Schadstoffen gehören auch Partikel, zum größten Teil  
Ruß, die aufgrund unvollständiger Verbrennung in der  
Brennkraftmaschine entstehen. Die Ruß- oder  
Partikelbildung ist insbesondere bei Dieselmotoren  
gegeben. Derartige Partikel haben eine Partikelgröße  
von weniger als 100 Nanometer (100 nm). Es können neben  
den in der Zeichnung dargestellten Elemente an  
geeigneter Stelle auch weitere Elemente zur  
Abgaskonditionierung vorgesehen sein.

30

In Strömungsrichtung der Abgase gesehen ist in der Abgasleitung 7 zunächst ein Oxidationskatalysator angeordnet, innerhalb dessen beispielsweise nicht vollständig erfolgte Oxidationsreaktionen von Kohlenwasserstoffen und  $\text{NO}_x$  zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{NO}_2$  in Präsenz eines Katalysators erfolgen. Partikel durchströmen einen solchen Oxidationskatalysator ohne zu oxidieren.

Im weiteren Verlauf der Abgasleitung ist ein Temperatursensor angeordnet, der über die Signalleitung 10 die Abgastemperatur in diesem Punkt erfasst und an das Steuergerät 6 übermittelt. Hinter dem Temperatursensor mündet die Zufuhrleitung 9 in die Abgasleitung. Über die Zufuhrleitung 9 wird ein ozonhaltiger Gasstrom in den Abgasstrom eingeleitet, der hierdurch mit Ozon angereichert wird. Durch die Anreicherung mit Ozon erfolgt eine Verbrennung der Partikel, die im wesentlichen während der Zurücklegens der Flugstrecke zu dem Endschalldämpfer 4 erfolgt. Die Verbrennung startet aufgrund der Temperatur in der Abgasleitung und der Ozonkonzentration durch Selbstentzündung. Die während der Verbrennung freigegebene Energie erwärmt die Abgase, wobei die Abgastemperatur nach der Reaktionsstrecke vor Eintritt in den Endschalldämpfer 4 nochmals erfasst und über eine Signalleitung 11 der Steuerung 6 der Ozonquelle 5 zugeführt wird.

Nach dem Durchströmen des Endschalldämpfers 4 und des Endrohres 13 der Abgasleitung verlassen die Abgase die Abgasanlage. Sie sind gereinigt und, auch ohne dass in

der Abgasanlage ein Partikelfilter angeordnet wäre,  
hinreichend partikelfrei.

Über die Zufuhrleitung 9 erfolgt die kontinuierliche  
5 Zufuhr eines mit Ozon angereicherten Gasstromes. Die  
Ozonerzeugung bzw. das Anreichern eines Eduktes mit  
Ozon erfolgt durch den Ozongenerator 5. Diesem  
Ozongenerator 5 wird über die Ansaugleitung 15 ein  
Edukt, beispielsweise Luft zugeführt. In der  
10 Reaktionskammer 16 wird im Edukt Ozon erzeugt, wodurch  
das Produkt, ein mit Ozon angereichertes Gas, entsteht.  
Ein kontinuierlicher Produktgasstrom gelangt in die  
Abgasleitung.

15 Dabei wird die Ozonerzeugung der Ozonquelle durch das  
Steuergerät 6 gesteuert, beispielsweise gemäß einem in  
Fig. 4 dargestellten Verfahrens. Es sind  
unterschiedliche Reaktionskammern 16 bzw.  
Ozonerzeugungsformen denkbar. Die Erzeugung des Ozons  
20 kann in bekannter Weise durch Plasmaerzeugung, UV-  
Bestrahlung oder elektrochemisch erfolgen. Gewöhnlich  
enthält der so erzeugte ozonhaltige Gasstrom eine  
Ozonkonzentration von 10 bis 30%. Als Edukt kann  
Sauerstoff, Luftsauerstoff oder auch Wasser  
25 (elektrochemische Verfahren) dienen. Die Dosierung des  
ozonhaltigen Gasstromes bzw. die Dosierung der  
Ozonerzeugung kann durch Regelung des Eduktstromes, der  
Erzeugerleistung oder des Produktstromes (ozonhaltiger  
Gasstrom in der Zufuhrleitung 9) geregelt werden. Die  
30 Regelung durch das Steuergerät kann dabei insbesondere  
in Abhängigkeit von Kennfelddaten des Motors,

Temperatursensoren und Partikelsensoren erfolgen. So ist es möglich, mit dem Einstellen eines ungünstigen, zu hoher Partikelbildung führenden Betriebszustandes zugleich die Ozonanreicherung im Abgasstrom zu erhöhen.

5

Die Ausführungsform der Figur 2 unterscheidet sich hinsichtlich der Anordnung des Ozongenerators von der Ausführungsform der Figur 1. Der Ozonquelle 5 ist im Bereich der Abgasleitung 7 angeordnet und seine Reaktionskammer befindet sich innerhalb der Abgasleitung 7 selbst. Das Ozon wird im wesentlichen aus im Abgasstrom enthaltenem Sauerstoff gebildet. Im Abgasstrom ist dann Sauerstoff enthalten, wenn die Brennkraftmaschine 1 mit magerer Gemischaufbereitung betrieben wird. Alternativ oder zusätzlich kann auch eine Bypass-Leitung 14 vorgesehen sein, die Luft aus dem Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine an den Brennkammern vorbei in die Abgasleitung 7 einleitet. Das Einleiten der Luft kann dabei bereits stromaufwärts eines vor der Ozonquelle 5 angeordneten Oxidationskatalysators 2 erfolgen.

20

25

30

Als alternative Ausführungsform zu der Ausführung gemäß Figur 1 ist in Figur 2 der Temperatursensor stromaufwärts der Ozonquelle entfallen, da anstelle eines weiteren Temperatursensors vor dem Endschalldämpfer 4 ein Partikelsensor angeordnet ist, der den Partikelgehalt des Abgasstromes erfasst und dessen Messwerte über die Signalleitung 11 an das Steuergerät 6 übermittelt, das wiederum über die Steuerleitung 11 den Betrieb der Ozonquelle 5 so

beeinflusst, dass der Partikelgehalt beim Partikelsensor einen vorgegebenen Wert nicht überschreitet.

5 Die Ozonerzeugung selbst bzw. deren Regelung über das Steuergerät 6 kann im übrigen in den bezüglich Figur 1 und Figur 6 beschriebenen Weisen erfolgen.

10 Die Figur 3 zeigt in schematischer Darstellung eine erfindungsgemäße Abgasreinigungsanlage mit einer außerhalb der Abgasleitung 7 angeordneten Ozonquelle 5, wobei ein Partikelfilter 3 in der Abgasleitung 7 angeordnet ist.

15 Die Abgasleitung 7 führt dabei von der Brennkraftmaschine 1 zum Endrohr 13 der Abgasleitung 7, bei dem die Abgase die Abgasleitung 7 verlassen. In der Abgasleitung 7 und der Abgasleitung 7 zugeordnet sind diverse Elemente der Abgasreinigung, die zusammen eine  
20 Abgasreinigungsanlage bilden. Die Abgasreinigung hat den Zweck die von der Brennkraftmaschine 1 ausgestoßenen Abgase von mitgeführten Schadstoffen weitestgehend, mindestens aber entsprechend gesetzlicher Vorschriften, zu reinigen. Zu den  
25 Schadstoffen gehören auch Partikel, meist Ruß, die aufgrund unvollständiger Verbrennung in der Brennkraftmaschine entstehen. Die Ruß- oder Partikelbildung ist insbesondere bei Dieselmotoren gegeben. Derartige Partikel haben eine Partikelgröße  
30 von weniger als 100 Nanometer (100 nm).

In Strömungsrichtung der Abgase gesehen ist in der Abgasleitung 7 zunächst ein Oxidationskatalysator angeordnet, innerhalb dessen beispielsweise nicht vollständig erfolgte Oxidationsreaktion von Kohlenwasserstoffen und  $\text{NO}_x$  zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{NO}_2$  in Präsenz eines Katalysators erfolgen. Rußpartikel durchströmen einen solchen Oxidationskatalysator bei den relevanten Temperaturen von z. B.  $< 280^\circ\text{C}$  ohne zu oxidieren.

Sowohl vor als auch hinter dem Oxidationskatalysators 2 ist eine Zufuhrleitung 8 bzw. 9 zur intermittierenden Zufuhr von ozonhaltigem Gas in die Abgasleitung 7 angeordnet. Stromabwärts der Zufuhrleitung 9 ist ein Partikelfilter 3 angeordnet, der von dem Abgas durchströmt wird. Im Abgasstrom enthaltene Partikel werden vom Partikelfilter zurückgehalten. An oder nach dem Partikelfilter kann die Abgastemperatur erfasst und über eine Signalleitung 11 der Steuerung 6 der Ozonquelle 5 zugeführt werden. Nach dem Durchströmen des Endschalldämpfers 4 und des Endrohres 13 der Abgasleitung verlassen die Abgase die Abgasanlage.

Damit der Partikelfilter 3 nicht durch die abgeschiedenen Partikel zugesetzt wird, muss er immer wieder durch Verbrennen der abgeschiedenen Partikel regeneriert werden. Über die Zufuhrleitung 9 kann ein ozonhaltiger Gasstrom in die Abgasleitung 7 eingeleitet werden, wodurch eine Regeneration des stromabwärts in der Abgasleitung 7 angeordneten Partikelfilters 3 erfolgt. Durch die Anreicherung mit Ozon erfolgt eine Verbrennung der im Partikelfilter 3 zurückgehaltenen

Partikel, so dass der Filter von den gebildeten Ablagerungen befreit, also regeneriert wird. Ein Verfahren zur Regeneration eines Partikelfilters ist in der Fig. 5 dargestellt, wobei erfindungsgemäß die  
5 Regeneration unmittelbar nach dem Abschalten der Brennkraftmaschine 1 erfolgt, also wenn kein weiterer Abgasstrom vorhanden ist. Dies erlaubt es, die Anlage mit einer Ozonquelle relativ geringer Leistung auszustatten, ohne ihre Funktionsfähigkeit zu  
10 beeinträchtigen.

Die Verbrennung im Partikelfilter startet aufgrund der Temperatur in der Abgasleitung 7 und der erzeugten Ozonkonzentration durch Selbstentzündung. Die während  
15 der Verbrennung freigegebene Energie erwärmt die Verbrennungsgase, wodurch sich die Temperatur im Partikelfilter erhöht. Die für die Selbstzündung erforderliche Temperatur wird im Prozess aufrechterhalten.

20 Über die Zufuhrleitung 9 erfolgt die Zufuhr eines mit Ozon angereicherten Gasstromes, wobei die Strömung des Gasstromes über das Gebläse 17 erzeugbar ist, das Teil des Ozongenerators 5 ist. Die Ozonerzeugung bzw. das  
25 Anreichern eines Ausgangsgases mit Ozon erfolgt über den Ozongenerator 5. Diesem Ozongenerator 5 wird über die Ansaugleitung 15 Edukt, beispielsweise Luft zugeführt. In der Reaktionskammer 16 wird im Edukt Ozon erzeugt, wodurch das Produkt, ein mit Ozon  
30 angereichertes Gas, entsteht. Ein Produktgasstrom gelangt in die Abgasleitung. Dabei wird die



Ozonerzeugung der Ozonquelle durch das Steuergerät 6 gesteuert, beispielsweise gemäß einem in Fig. 5 dargestellten Verfahrens. Es sind unterschiedliche Reaktionskammern 16 bzw. Ozonerzeugungsformen denkbar. Die Erzeugung des Ozons kann in bekannter Weise durch Plasmaerzeugung, UV-Bestrahlung oder elektrochemisch erfolgen. Gewöhnlich enthält der so erzeugte ozonhaltige Gasstrom eine Ozonkonzentration von 1 bis 20%. Als Edukt kann Sauerstoff, Luftsauerstoff oder auch Wasser (elektrochemische Verfahren) dienen. Die Dosierung des ozonhaltigen Gasstromes bzw. die Dosierung der Ozonerzeugung kann durch Regelung des Eduktstromes, der Erzeugerleistung oder des Produktstromes (ozonhaltiger Gasstrom in der Zufuhrleitung 9) geregelt werden.

Darüber hinaus ist es erfindungsgemäß auch möglich, über die Zufuhrleitung 8 vor dem Starten der Brennkraftmaschine die Abgasleitung 7 mit ozonhaltigem Gas zu spülen. Hierzu wird ozonhaltiges Gas von der Gasquelle 5 erzeugt und durch die Zufuhrleitung 8 in die Abgasleitung 7 geleitet. Das Gas strömt durch den Oxidationskatalysator 2 hindurch bis zum Endrohr 13. Spätestens dann, wenn nach dem Start zusätzlich warme Abgase von der Brennkraftmaschine in der Abgasleitung strömen, werden in der Abgasleitung 7 angelagerte Kohlenwasserstoffe aufgrund der Präsenz des Ozons verbrannt. Spätestens kurz nach Motorstart kann die Erzeugung von ozonhaltigem Gas beendet werden. Ein entsprechendes Verfahren, bei dem auch gleichzeitig über das zugeführte Ozon ein rasches Erwärmen des

Katalysators 2 erfolgen kann, ist in der Figur 6 beschrieben.

5 Eine Zufuhrleitung 8 zur Spülung des Abgasstranges kann auch in der Ausführungsform der Figur 1 in gleicher Weise vorgesehen sein und dementsprechend kann dann auch ein Verfahren gemäß der Figur 6 durchgeführt werden.

10 Die Fig. 4 zeigt ein Verfahren zur Durchführung einer Abgasreinigung mit kontinuierlicher Anreicherung von Ozon im Abgasstrom, wie es durchgeführt wird, wenn die Abgasleitung 7 partikelfilterfrei ist. Im Schritt 401 wird überprüft, ob die Brennkraftmaschine in Betrieb  
15 ist, da dies Voraussetzung für das vorliegende Verfahren ist. Solange dies nicht der Fall ist, werden keine weiteren Verfahrensschritte durchgeführt. Sobald in Schritt 401 festgestellt wird, dass die Brennkraftmaschine in Betrieb ist, wird gemäß dem  
20 Schritt 402 der Abgasstrom in der zuvor erfolgten Menge oder Konzentration mit Ozon angereichert, wobei es unerheblich ist, ob das Ozon in der Abgasleitung selbst oder in einer externen Ozonquelle erzeugt und über eine Zufuhrleitung 9 zugeführt wird.

25 Gemäß dem Schritt 403 wird dann überprüft, ob die Abgastemperatur stromabwärts der Anreicherung mit Ozon höher ist als stromaufwärts davon. Dies ist dann der Fall, wenn eine Selbstzündung erfolgt ist und während  
30 der Flugstrecke der Abgase nach dem Erzeugen der Ozonkonzentration bis zum Erreichen des

stromabwärtsliegenden Temperatursensors eine Verbrennung von Partikeln stattgefunden hat. Ist dies nicht der Fall, so wird zum Schritt 405 gesprungen und die zu erzeugende Ozonkonzentration erhöht, wobei die Erhöhung um einen Schritt vorgegebener Größe, beispielsweise 0,5 % erfolgen kann.

Über das Steuergerät 6 wird die Ozonquelle 5 entsprechend der Erzeugung der höheren Ozonkonzentration angesteuert.

Im Schritt 404 wird überprüft, ob die Temperatur am stromabwärtsliegenden Messpunkt maximal ist, das heißt ob sie bei einer weiteren Erhöhung der Ozonkonzentration weiter zunimmt. Dazu wird die Temperatur mit der dort gemessenen Temperatur bei der vorhergehenden Abfrage verglichen. Ist die aktuelle Temperatur größer als die vorhergehende und hat zuletzt eine Erhöhung der Ozonkonzentration stattgefunden, so konnte die Verbrennung von Partikeln durch Erhöhen der Ozonkonzentration gesteigert werden. Es wird dann zu Schritt 405 gesprungen und die Ozonkonzentration um einen weiteren Schritt erhöht. Es wird auch dann zu Schritt 405 gesprungen, wenn die aktuelle Temperatur geringer ist als die vorhergehende und zuletzt eine Verringerung der Ozonkonzentration gemäß Schritt 406 stattgefunden hat.

Andernfalls hat die letzte Erhöhung oder letzte Verringerung der Ozonkonzentration in der Abgasleitung nicht zu einer gesteigerten bzw. verringerten Verbrennung von Partikeln geführt, die Verbrennung

erfolgte bisher schon bzw. erfolgt weiterhin  
vollständig. Im Sinne einer Reduzierung des  
Energieverbrauchs zur Erzeugung des Ozons wird daher im  
Schritt 406 die Ozonkonzentration um einen Schritt  
5 verringert.

Die Figur 5 zeigt ein Verfahren zur Regeneration eines  
Partikelfilters 3, das nach dem Abstellen der  
Brennkraftmaschine durchgeführt wird. Eine  
10 entsprechende Abgasreinigungsanlage mit einem  
Partikelfilter 3 ist in Figur 3 dargestellt und dort  
beschrieben. Gemäß dem Schritt 501 wird überprüft, ob  
die Brennkraftmaschine abgestellt wurde. Ist dies nicht  
der Fall, so wird zum Schritt 501 zurückgesprungen.  
15 Sobald im Schritt 501 festgestellt wird, dass die  
Brennkraftmaschine abgestellt wurde, wird gemäß dem  
Schritt 502 überprüft, ob sich die Temperatur des  
Partikelfilters auf ein gewünschtes Maß, das oberhalb  
der Selbstentzündungstemperatur der abgelagerten  
20 Partikel bei erreichbarer Ozonkonzentration liegt,  
abgesunken ist. Sobald dies geschehen ist, wird gemäß  
Schritt 503 Ozon in den Partikelfilter eingeleitet.

Anschließend wird gemäß Schritt 504 überprüft, ob die  
25 Temperatur oberhalb eines vorgesehenen Grenzwertes  
liegt. Ist dies der Fall, so wird zum Schritt 507  
zurückgesprungen und die einzuleitende  
Ozonkonzentration um einen vorgegebenen Schritt,  
beispielsweise um 0,5 %, reduziert und dann zum Schritt  
30 503 gesprungen.

Andernfalls wird gemäß dem Schritt 505 die zu erzeugende Ozonkonzentration um einen Schritt erhöht. Danach wird gemäß dem Schritt 506 über einen Sensor überprüft, ob die abgelagerten Partikel vollständig verbrannt wurden. Dies kann beispielsweise aus dem Verlauf der Temperaturkurve in Abhängigkeit der Ozonkonzentration oder aber mittels einem Differenzdrucksensor, der die Druckdifferenz über den Partikelsensor erfasst geschehen. Ist die Verbrennung der abgelagerten Partikel noch nicht vollständig erfolgt, so wird zum Schritt 503 gesprungen. Andernfalls wird die Ozoneerzeugung und Einleitung von ozonhaltigem Gas in den Partikelfilter beendet. Das Verfahren ist beendet.

Figur 6 zeigt die schematische Darstellung eines Verfahrens zur Spülung der Abgasleitung und eines Oxidationskatalysators mit ozonhaltigem Gas vor Start einer Brennkraftmaschine. In dem Schritt 601 wird überprüft, ob die Brennkraftmaschine gestartet werden soll. Dies erfolgt beispielsweise bei einem Dieselmotor indem abgefragt wird, ob ein Vorglühvorgang eingeleitet wird. Wenn dies der Fall ist, wird gemäß dem Schritt 602 die Abgasleitung durch Zufuhr eines ozonhaltigen Gasstromes, beispielsweise durch eine Zufuhrleitung 8, die stromaufwärts des Oxidationskatalysators 2 mündet - dargestellt in Figur 3, in gleicher Weise auch in einer Ausführungsform ohne Partikelfilter wie gemäß Figur 1 realisierbar - gespült. Das Spülen kann insbesondere für eine vorgegebene Zeitdauer erfolgen. Um die vorzugebende Zeitdauer möglichst gering zu halten, muss

durch den Ozongenerator kurzzeitig ein möglichst hoher Volumenstrom mit großer Ozonkonzentration erzeugt werden. Während des Spülvorganges kann deswegen das Starten des Motors gesperrt werden, es wird in diesem Fall erst mit Abschluss des Spülvorganges freigegeben. Dann wird zum Schritt 603 übergegangen. Gemäß dem Schritt 603 wird weiterhin durch die Zufuhrleitung 8 vor dem Oxidationskatalysator 2 ozonhaltiges Gas in die Abgasleitung 7 eingeleitet, wobei die Verbrennung der Brennkraftmaschine so gesteuert ist, dass die Abgase noch verbrennbare Kohlenwasserstoffe enthalten. Dies kann durch eine sehr späte Kraftstoffeinspritzung oder durch eine fette Gemischaufbereitung in der Brennkraftmaschine erfolgen. Sowohl die Ozonzufuhr (Konzentration, Volumenstrom) als auch der Gehalt an Kohlenwasserstoffen kann mit steigender Temperatur im Oxidationskatalysator 2 degressiv erfolgen. Gemäß Schritt 604 wird überprüft, ob der Oxidationskatalysator seine Betriebstemperatur erreicht hat. Ist dies nicht der Fall, so wird zu Schritt 603 gesprungen. Andernfalls wird die Einleitung von ozonhaltigem Gas in die Abgasleitung 7 vor dem Oxidationskatalysator 2 ebenso wie das Verfahren beendet.

5

10     Ansprüche

15     1.     Vorrichtung zur Reinigung von Abgasen einer  
Brennkraftmaschine (1), insbesondere eines  
Dieselmotors, mit einer von der Brennkraftmaschine (1)  
wegführenden Abgasleitung (7) und einer Ozonquelle (5)  
zum Anreichern des Abgasstromes der Brennkraftmaschine  
mit Ozon,  
20     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Ozonquelle (5) zum Erzeugen eines  
kontinuierlichen ozonhaltigen Gasstromes derart  
ausgebildet ist, dass in der Abgasleitung (7) strömende  
Partikel zu einem großen Teil oxidiert werden.

25     2.     Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Ozonquelle (5) in der  
Abgasleitung (7) angeordnet ist, wobei die  
Ozonerzeugung im durchströmenden Abgasstrom erfolgt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ozonquelle (5) eine Ansaugleitung (15), eine Reaktionskammer (16) und eine Zufuhrleitung (9) aufweist, wobei über die Ansaugleitung (15) der Reaktionskammer (16) sauerstoffhaltiges Gas zugeführt wird, das in der Reaktionskammer (16) vorzugsweise durch Energiezufuhr mit Ozon angereichert und über die Zufuhrleitung (9) in die Abgasleitung (7) eingeleitet wird.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Abgasleitung (7) ein Oxidationskatalysator (2) angeordnet ist, wobei die Anreicherung des Abgasstromes mit Ozon stromaufwärts des Oxidationskatalysators (2) erfolgt.

5. Kraftfahrzeug mit einer Brennkraftmaschine (1), insbesondere mit einem Dieselmotor, das eine Vorrichtung zur Abgasreinigung nach einem der vorhergehenden Ansprüche enthält.

6. Verfahren zum Reinigen des Abgasstromes in der Abgasleitung (7) einer Brennkraftmaschine (1), insbesondere eines Dieselmotors, von Partikeln, wie Ruß, wobei der Abgasstrom mit Ozon angereichert wird, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass eine kontinuierliche Anreicherung des Abgasstromes mit Ozon derart erfolgt, dass vorhandene Partikel



bereits während des Durchströmens der Abgasleitung (7) zum großen Teil oxidiert werden.

5 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Konzentration des Ozons wenigstens in Abhängigkeit des Partikelstromes bestimmt wird, wobei die Konzentration des Ozons insbesondere so gewählt wird, dass der verbleibende Partikelgehalt des Abgasstromes einen vorgegebenen Grenzwert nicht  
10 übersteigt.

15 8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ozonanreicherung im Abgasstrom vorhandener Sauerstoff und/oder Wasser verwendet wird.

20 9. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Erzeugen des Ozons in einer Reaktionskammer (16) außerhalb des Abgasstromes erfolgt.

25 10. Verfahren zum Regenerieren eines Partikelfilters (3) in einer Vorrichtung zur Abgasreinigung einer Brennkraftmaschine (1) mit einer Ozonquelle (5) zum Anreichern des Abgasstromes in einer Abgasleitung (7) stromaufwärts des Partikelfilters (3),  
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass nach dem Ausschalten der Brennkraftmaschine (1) in der Ozonquelle (5) Ozon erzeugt und in die Abgasleitung (7) im Bereich des Partikelfilters (3) eingeleitet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Ozonkonzentration an oder in dem Partikelfilter (3) bis zur Selbstentzündung der abgelagerten Partikel erhöht wird.

5

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Gebläses (17) eine ozonangereicherte Gasströmung durch den Partikelfilter (3) erzeugt wird.

10

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Ozonzufuhr anhand der Temperatur des Partikelfilters (3) geregelt wird.

15

14. Verfahren zum Betreiben einer Vorrichtung zur Reinigung von Abgasen in einer Abgasleitung (7) einer Brennkraftmaschine (1), wobei in einer Ozonquelle (5) ein mit Ozon angereicherter Gasstrom erzeugt wird, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Abgasleitung (7) vor dem Starten der Brennkraftmaschine (1) wenigstens teilweise mit dem mit Ozon angereicherten Gas gespült wird.

20

25

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasstrom stromaufwärts eines Oxidationskatalysators (2) in die Abgasleitung (7) eingeleitet wird, wobei zumindest der Oxidationskatalysator (2) vor dem Starten der Brennkraftmaschine (1) mit dem mit Ozon angereicherten Gas gespült wird.

30

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass unmittelbar nach dem Starten der Brennkraftmaschine (1) die Verbrennung in der Brennkraftmaschine derart gesteuert wird, dass die Abgase noch brennbare Kohlenwasserstoffe enthalten.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass bis zum Erreichen der Betriebstemperatur des Oxidationskatalysators (2) eine insbesondere degressive Anreicherung des Abgasstromes mit durch die Ozonquelle (5) erzeugtem Ozon erfolgt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17 bei Dieselmotoren, dadurch gekennzeichnet, dass das Spülen mit Ozon angereichertem Gas während des Vorglühens des Dieselmotors erfolgt.

19. Kraftfahrzeug mit einer Brennkraftmaschine, insbesondere einem Dieselmotor, mit einer Steuereinrichtung (6) zum Steuern wenigstens des Verbrennungsvorganges der Brennkraftmaschine (1) mit einer Recheneinrichtung, insbesondere einem Mikroprozessor, zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 6 bis 18.

5

10

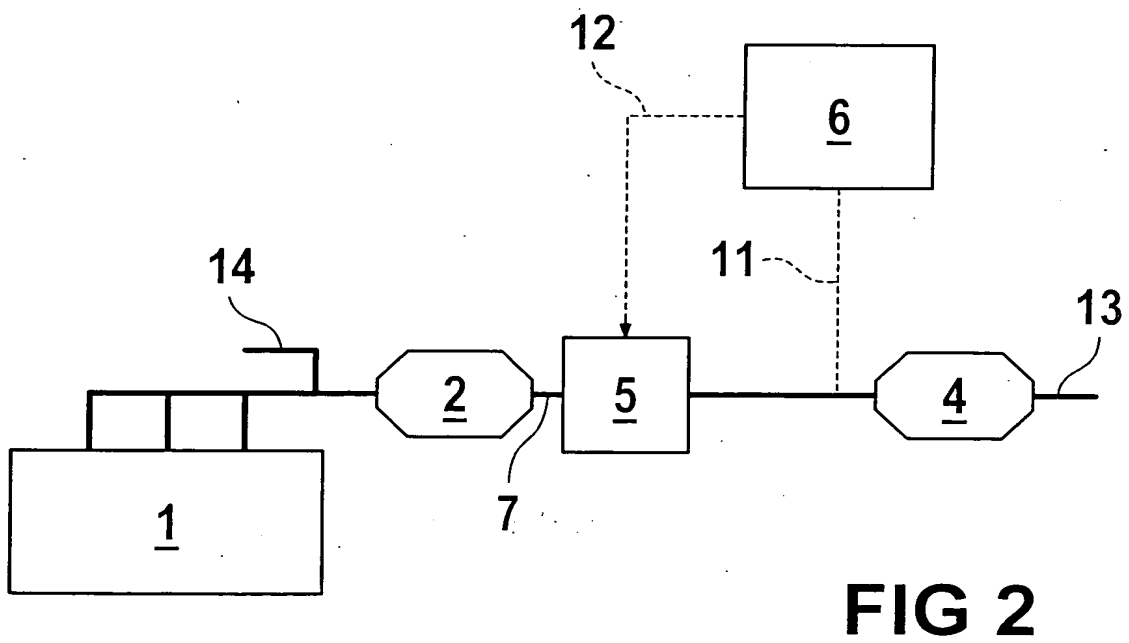
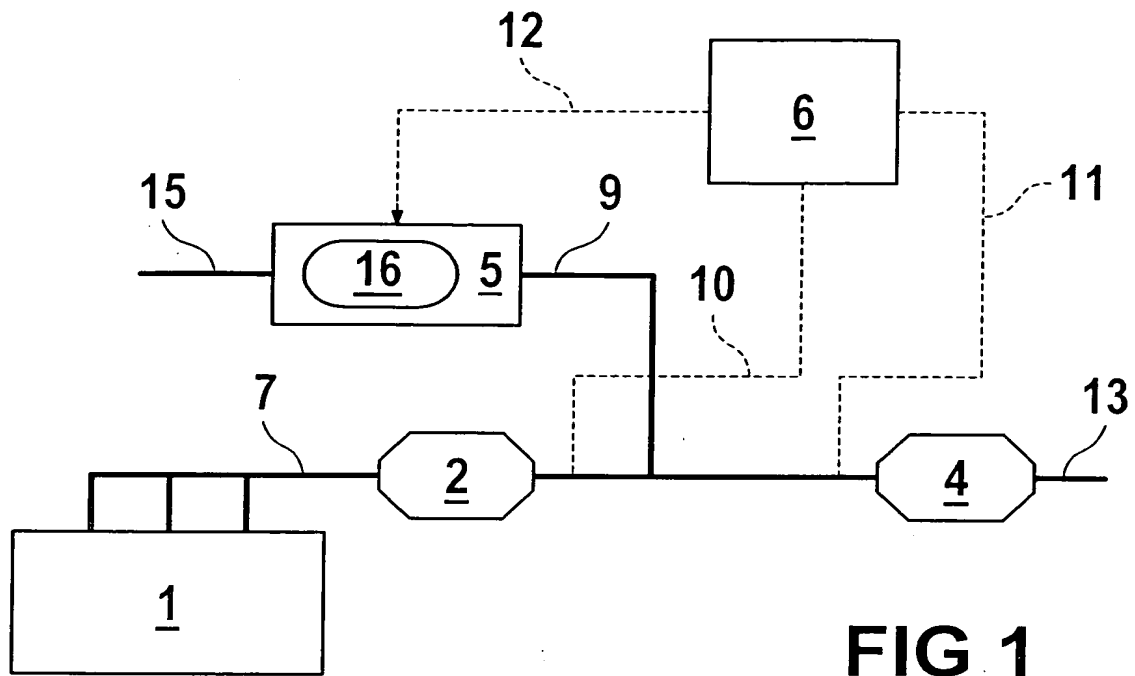
15 Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung  
sowie Verfahren zur Abgasreinigung einer  
Brennkraftmaschinen, insbesondere eines Dieselmotors.  
20 Eine solche Vorrichtung zur Abgasreinigung weist eine  
von der Brennkraftmaschine (1) wegführende Abgasleitung  
(7) sowie eine Ozonquelle (5) zum Anreichern des  
Abgasstromes der Brennkraftmaschine mit Ozon auf. Die  
Ozonquelle (5) ist hierbei derart ausgebildet, dass sie  
25 einen kontinuierlichen ozonhaltigen Gasstrom derart  
erzeugt, dass in der Abgasleitung (7) strömende  
Partikel zum großen Teil oxidiert werden, wodurch die  
Abgasleitung (7) frei von Partikelfiltern gehalten  
werden kann.

30

(Figur 1)

1 / 3



2 / 3

FIG 3

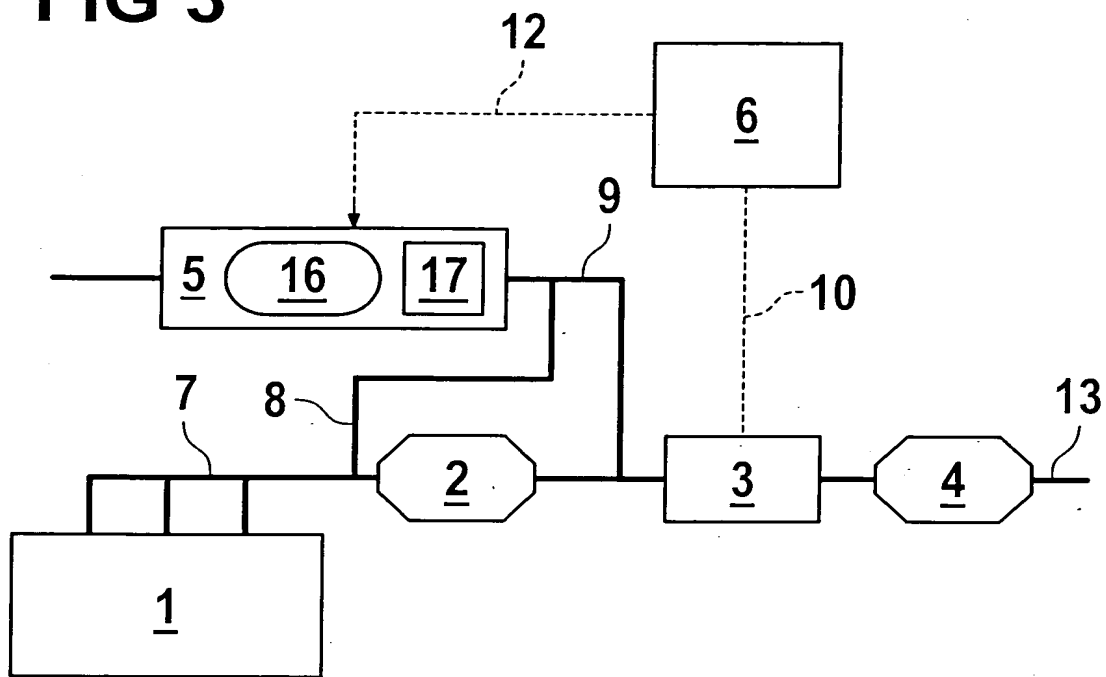


FIG 4

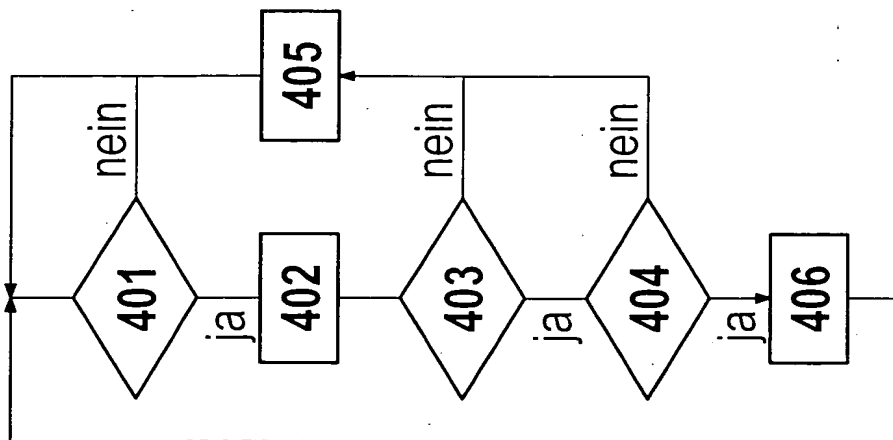


FIG 5

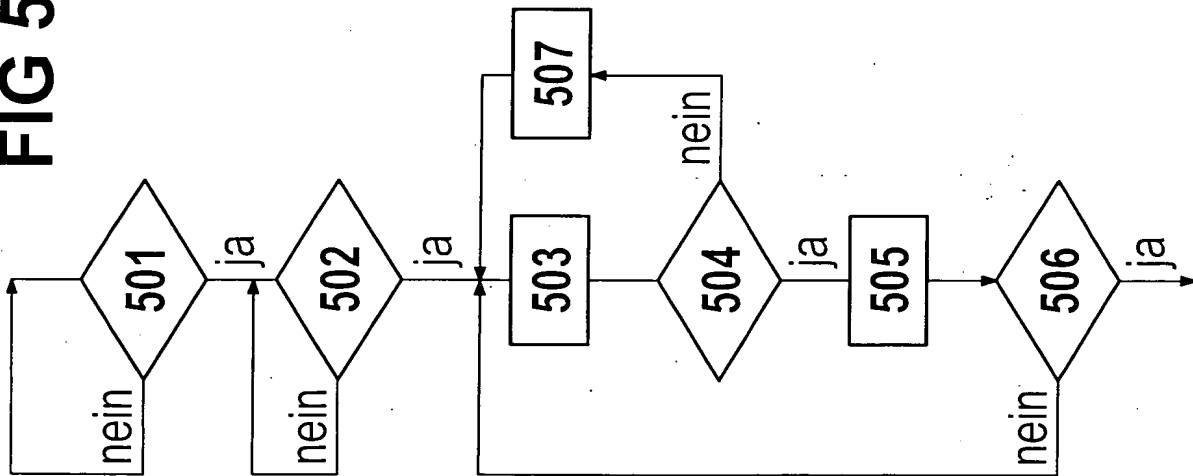


FIG 6

